

УДК 582.232.2 : 553.741

В.К. ОРЛЕАНСКИЙ

Ин-т микробиологии РАН,
Россия, 117312 Москва, просп. 60 лет Октября, 7
тел. (095) 135 04 41, E-mail orlean@inmi.host.ru

ЛАБОРАТОРНЫЕ БИОМОДЕЛИ СЕРНОГО АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНОГО МАТА И КОЛЕЦ СЕРЫ (КОЛЬЦА КАРПОВА)

Изучены два серных образования на термальных полях кальдеры вулкана Узон (Камчатка): 1 – серный, слоистый альгобактериальный мат; 2 – горизонтальные, на поверхности воды, кольца серы (кольца Карпова), формирующиеся около растущих колоний синезеленых водорослей. Эти образования обусловлены ростом осцилляторных водорослей и пульсирующим выбросом серы из гидротермальных источников. Полученные в лабораторных условиях биомодели по своей морфологии аналогичны природным образцам.

Ключевые слова: альгобактериальный мат, серные гидротермы, лабораторные биомодели, *Cyanophyta*.

Введение

Выделение серы на термальных полях – довольно распространенное явление (Карпов, 1988; Кальдерные ..., 1989; Ерошев-Шак, 1992). На серных термальных источниках кальдеры вулкана Узон (Камчатка) нами были проведены исследования специфических образований слоистых серных альгобактериальных матов и серных колец около растущих колоний синезеленых водорослей. Такие горизонтальные кольцеобразные формирования серы разного диаметра, вложенные друг в друга, встречаются на поверхности серных минеральных источников. В России эти структуры описаны впервые на Камчатке вулканологом Г.А. Карповым (1980). Среди российских биологов такой феномен получил название «кольца Карпова». Этот термин сохранен и в данной работе.

Цель наших экспериментов – в лабораторных условиях получить биомодели – аналоги природных образцов.

Материалы и методы

Данная работа является продолжением ранее начатых исследований по получению слоистых образований – аналогов ископаемых строматолитов, поэтому мы использовали методы, разработанные ранее при получении аналогов ископаемых карбонатных и фосфатных образований (Орлеанский, Раабен, 1998; Орлеанский и др., 2000).

Для опытов использовали сообщество водорослей, выделенное из термальных источников этой кальдеры. В нем доминировали синезеленые водоросли

©В.К. Орлеанский, 2004

Oscillatoria terebriformis (Ag.) Elenk. emend. и *Phormidium angustissimum* W. et G.S. West (*Oscillatoriaceae*). Водорослевую культуру выращивали на среде Заварзина, имитирующую минеральный состав одного из термальных источников (Орлеанский, Герасименко 1982). Освещение – от 200 лк ночью до 2000 лк днем (использовали лампы накаливания). Сообщество культивировали в небольших кристаллизаторах, где оно образовывало пленку на дне. Серу в экспериментах использовали в виде растертого в ступке порошка, полученного из реактива «сера нейтральная, кристаллическая».

Результаты и обсуждение

Серный альгобактериальный мат. Природный серный альгобактериальный мат представляет собой слоистое образование, состоящее из чередующихся прослоев тонкодисперсного ила, содержащего самородную серу, и биомассы синезеленых водорослей. Обнаружено оно на периферийной части термального источника Заварзина, где глубина слоя воды составляла почти 10 мм (рис. 1). Механизм образования такого альгобактериального мата заключался в пульсирующем режиме поступления серы. Прекращение ее поступления в водную систему сопровождалось активным ростом синезеленых водорослей, растущих на выпавшем минеральном осадке.

Пульсирующий режим деятельности в термальных источниках кальдеры вулкана Узон характерен и для других параметров: температура, состав газов, pH (Ероцев-Шак и др., 1985). На рис. 2 показан период активного роста водорослей, когда поверхность мата была покрыта предметными стеклами. После того, как произошел выброс серы и вся поверхность мата покрылась белым илистым осадком, одно стекло было приподнято и под ним отчетливо были видны следы роста синезеленых водорослей. Особенно хорошо такое периодическое чередование роста водорослей (темный прослой) и минерального осадка (белый прослой) видно на вертикальном срезе природного мата (рис. 3).

В лабораторных экспериментах, аналогично природным условиям, был использован принцип периодичности, т.е. этапы активного роста водорослей чередовались с периодами активного осадконакопления. Для этого в экспериментальный сосуд, кристаллизатор объемом 200 мл, на дне которого находился слой 2 %-го водного агара (используемый в качестве подложки и имитирующий дно водоема), вносили водорослевый посевной материал. Когда водоросли разрастались и укреплялись на дне сосуда, образуя хорошо выраженную водорослевую поверхность, в питательную среду пипеткой вносили взвесь порошка серы. Частицы серы оседали на дно сосуда, образуя минеральный слой, толщина которого в экспериментах определялась визуально, по мере покрытия минеральным осадком водорослевой поверхности. Затем сосуд снова помещали в условия освещения. Уже в течение часа активные нити (гормогонии) осцилляториевых водорослей проникали через нанесенный слой минерального осадка и начинали разрастаться на его поверхности. С образованием нового, хорошо выраженного органического слоя, цикл внесения серного осадка повторялся. Как видно из рис. 4, таких циклов было более 10. Механизм создания лабораторной биомодели соответствует природному, а полученная образованная слоистость морфологически аналогична природному материалу.

В отличие от карбонатной или фосфатной слоистости, слоистость серного мата явление временное (скорее всего, сезонное), так как сера подвергается процессу сульфатредукции, водорослевые нити при этом лизируются и распадаются, а четкая слоистость исчезает.

Серные кольца (кольца Карпова). Кроме слоистых серных альгобактериальных матов, в термальных источниках кальдеры вулкана Узон встречается еще одно явление, связанное с серой и синезелеными водорослями, которое называется «кольца Карпова».

Описываемые структуры обнаруживаются в виде концентрических серных кругов диаметром 1-5 см (рис. 5, 6). Это явление крайне неустойчиво. Малейшее дуновение ветра, а тем более дождь, приводят к его уничтожению. Обнаружение таких серных колец возможно лишь в период устоявшейся хорошей безветренной погоды. Серные образования встречаются по периферийной части серных источников, в «заливах», где слой воды составляет 1-2 мм. Дно таких заливов должно быть заросшим синезелеными водорослями (рис. 7, а). Когда в такой залив попадает занесенная ветром веточка или даже мертвое насекомое, нити осцилляториевых водорослей оплетают этот объект и как «по лестнице» поднимаются к поверхности воды, начиная разрастаться. Выделяемая источником тонкодисперсная коллоидная сера обладает гидрофобными свойствами, и часть выделяемой серы плавает по поверхности воды. Наткнувшись на растущую колонию водорослей, она скапливается около водорослевых нитей (рис. 7, б, в). Пульсирующее выделение серы, о чем указывалось выше, фиксируется в виде горизонтальных колец, скапливающихся около растущих колоний водорослей.

Для лабораторного моделирования наблюдаемого в природе явления использовали чашки Петри. В центр чашки помещали небольшие агаровые столбики из 2 %-го водного агара, на которые накладывали комочки хорошо растущей культуры. Помещенную на агаровых столбиках культуру погружали в среду, только верхнюю часть комочка оставляли на поверхности. Колония осцилляториевых водорослей, как и в природных условиях, начинает разрастаться на поверхности среды, возникает ореол горизонтального роста (рис. 8). Если в сосуд внести частички серы (тщательно растертую серу вносили на кончике препарировальной иглы), они, как и в природе, могут удерживаться вблизи нитей водорослей (рис. 9). Плавающие частички серы не являются препятствием для дальнейшего разрастания колонии (рис. 10). Нити осцилляториевых растут под этими частичками серы, плавающими на пленке поверхностного натяжения воды, а растущие нити водорослей прикрепляются к нижней части этой пленки как к твердому субстрату. Частички плавающей серы застревают в нитях водорослей, наткаясь на своеобразную мель. Этим и объясняется тот факт, что в природе небольшое усиление ветра разрушает это явление, сдувая серу с нитей водорослей. Периодическое чередование в эксперименте «этапов» роста водорослей и внесения серы приводит к образованию концентрических колец около колоний осцилляториевых водорослей (рис. 11). В лабораторных условиях, как и в природе, образующийся рыхлый ореол начального роста осцилляториевых водорослей со временем уплотняется и сжимается, сближая кольца серы между собой и приближая их к центральной части колонии.

В термальных источниках часто 2-3 колонии, растущие сначала отдельно, разрастались и сближались, объединяясь в одну. Тогда частички серы окружали

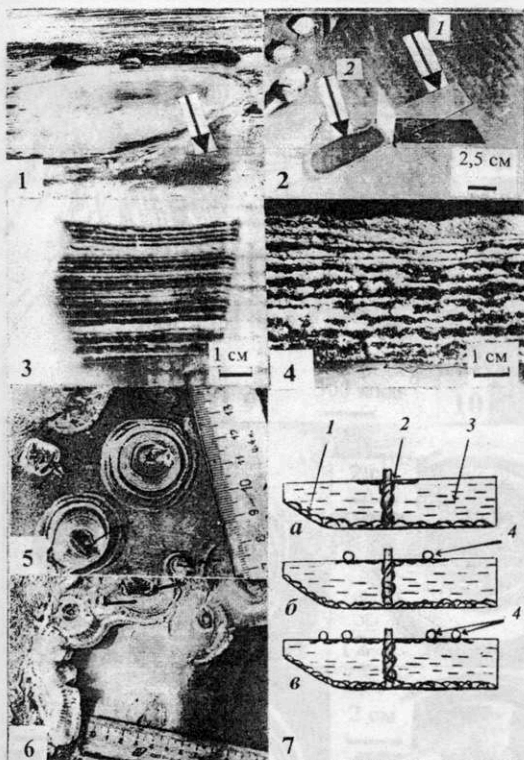


Рис. 1. Общий вид источника Заварзина (кальдера вулкана Узон, Камчатка). Стрелкой указано местонахождение серного альгобактериального мата.

Рис. 2. Участок мата крупным планом. Стрелкой указана территория роста синезеленых водорослей, засыпанная серным осадком (1), микробиологическое покрывное стекло с серным осадком приподнято над альгобактериальным матом (2).

Рис. 3. Вертикальный разрез керна природного серного альгобактериального мата.

Рис. 4. Вертикальный разрез лабораторной биомодели серного альгобактериального мата. Размер кристаллов серы в опыте колебался от 30 до 150 мкм, размер частичек серы в природных источниках (рис. 3) составлял 1-3 мкм.

Рис. 5. Серные концентрические кольца в термальных источниках кальдеры вулкана Узон.

Рис. 6. Кольца из серы у края серного источника.

Рис. 7. Схема образования серных колец (колец Карпова): а - рост водорослей на дне источника и поднятие нитей по случайно упавшей травинке к поверхности воды; б, в - разрастание колонии на поверхности воды и последовательное налипание серных частичек на нити осцилляториевых водорослей после «залповых» выбросов серы (1 - водоросли на дне водоема; 2 - разрастающаяся колония водорослей; 3 - слой воды; 4 - частички серы).

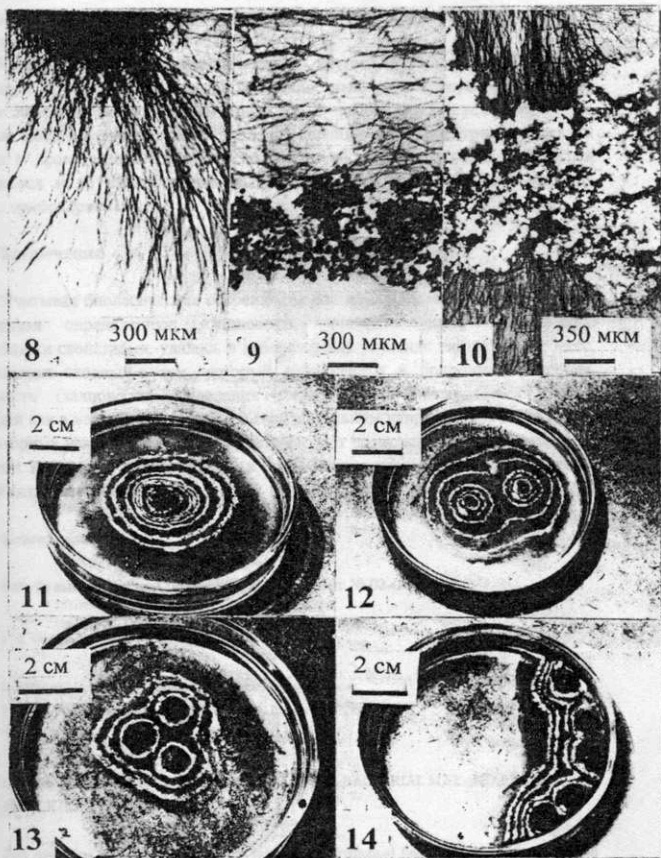


Рис. 8. Разрастание осцилляториевой колонии на поверхности питательной среды.

Рис. 9. Прилипание частичек серы к краю растущей колонии.

Рис. 10. Рост осцилляториевых водорослей под частичками прилипшей серы.

Рис. 11. Лабораторная биомодель серных колец Карпова.

Рис. 12, 13. Лабораторные биомодели – результат разрастания и объединения отдельных водорослевых колоний с формированием общих колец из серы по периферической окружности.

Рис. 14. Лабораторное моделирование «прибрежных» серных образований.

такую колонию единым общим кольцом. Такие образования получены нами и в лабораторных условиях (рис. 12, 13).

Кроме замкнутых концентрических кругов (колец Карпова) иногда наблюдается другая картина, когда поверхностный рост водорослей начинает расти от «берега» источника (см. рис. 6). В лабораторных условиях такую биомодель можно получить, сдвигая центры колоний или концентрируя посевной материал у края (стенки) экспериментального сосуда. Зоны роста водорослей объединяются и те растут одной массой. Это отчасти напоминает картину морского прилива (рис. 14).

Заключение

Учитывая биологические особенности роста осцилляториевых водорослей и соблюдая определенную «залповость» внесения серы, обладающую гидрофобными свойствами, удалось в лабораторных условиях наблюдать процесс, принципиально сходный с тем, который наблюдается в природных условиях. Цикличность (залповость) выделения серы может фиксироваться ростом водорослей как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Воссоздание в лабораторных условиях природных построек дает возможность понять механизм природных процессов, происходящих в современных гидротермальных системах областей активного вулканизма.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 02-04-48094.

V. K. Orleansky

Institute of Microbiology of the Russian Academy of Sciences,
7, Prosp. 60 Let Oktyabrya, 117312 Moscow, Russia
Tel. (095)135-0441, e-mail: orlean@immi.host.ru

LABORATORY BIOMODELS OF SULFURIC ALGAL-BACTERIAL MAT AND RINGS OF SULFUR (KARPOV'S RINGS)

Two interesting sulfuric formations were studied in hydrothermal fields of the caldera of the Uzon Volcano (Kamchatka): (1) a sulfuric stratified algal-bacterial mat; and (2) horizontal rings of sulfur on the water surface (Karpov's Rings) formed near the growing colonies of blue-green algae (cyanobacteria). These formations are conditioned by the growth of blue-green algae (genera *Oscillatoria* and *Phormidium* belonging to the family *Oscillatoriaceae*) and the pulsating release of sulfur from hydrothermal springs. The biomodels obtained in the laboratory are similar in their morphology to the natural samples.

Keywords: alga-bacterial mat, sulfuric hydrothermal springs, laboratory biomodels, *Cyanophyta*.

Ероцев-Шах В.А. Гидротермальный субповерхностный литогенез Курило-Камчатского региона. – М.: Наука, 1992. – 132 с.

Ероцев-Шах В.А., Карпов Г.А., Щербakov А.В., Ильин В.А. // Формирование осадков в гидротермальных озерах Камчатки // Докл. АН СССР. – 1985. – 280. – С. 165-169.

- Кальдерные микроорганизмы // Под ред. Г.А. Заварзина. – М.: Наука, 1989. – 120 с.
- Карпов Г.А. Изучение химико-физических параметров термальных источников и альгобактериального сообщества кальдеры вулкана Узон // Отчет Узонского полевого отряда Ин-та вулканологии ДВНЦ АН СССР. – Петропавловск-Камчатский, 1980. – 80 с.
- Карпов Г.А. Современные гидротермы и ртутно-сурьмяно-мышьяковое оруденение. – М.: Наука, 1988. – 183 с.
- Орлеанский В.К., Герасименко Л.М. Лабораторное моделирование термофильного цианобактериального сообщества // Микробиология. – 1982. – 51, № 4. – С. 538–542.
- Орлеанский В.К., Пауль Р.К., Сумина Е.Л., Герасименко Л.М. Водорослевые биомодели – аналоги фосфатных образований Мало-Каратау // Альгология. – 2000. – 10, № 3. – С. 324–328.
- Орлеанский В.К., Раабен М.Е. Живая лабораторная модель – аналог пассивно-ветвящихся столбчатых строматолитов // Там же. – 1998. – 7, № 2. – С. 185–188.

Получена 25.04.03

Подписала в печать О.Н. Виноградова